

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7694700号
(P7694700)

(45)発行日 令和7年6月18日(2025.6.18)

(24)登録日 令和7年6月10日(2025.6.10)

(51)国際特許分類	F I
B 0 1 D 53/04 (2006.01)	B 0 1 D 53/04 2 2 0
B 0 1 D 53/047 (2006.01)	B 0 1 D 53/047
C 0 1 B 32/50 (2017.01)	C 0 1 B 32/50

請求項の数 9 (全16頁)

(21)出願番号	特願2023-563638(P2023-563638)	(73)特許権者	000000099 株式会社 I H I 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
(86)(22)出願日	令和4年11月15日(2022.11.15)	(74)代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/042436	(74)代理人	100111235 弁理士 原 裕子
(87)国際公開番号	WO2023/095683	(74)代理人	100170575 弁理士 森 太士
(87)国際公開日	令和5年6月1日(2023.6.1)	(72)発明者	佐藤 研太郎 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式 会社 I H I 内
審査請求日	令和6年3月11日(2024.3.11)	(72)発明者	成澤 道則 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式 会社 I H I 内
(31)優先権主張番号	特願2021-190128(P2021-190128)		
(32)優先日	令和3年11月24日(2021.11.24)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 二酸化炭素回収システム及び二酸化炭素回収方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1吸着剤を収容し、前記第1吸着剤を加熱する第1加熱部を含む第1吸着塔と、
第2吸着剤を収容し、前記第2吸着剤を加熱する第2加熱部を含む第2吸着塔と、
を備え、

前記第1吸着剤は、前記第1吸着塔の外部から供給された空気と接触した場合には前記
空気中の二酸化炭素を吸着し、前記第1加熱部で加熱した場合には前記第1吸着剤に吸着
した二酸化炭素を脱着し、前記第1吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、前記空気より
も二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成し、

前記第2吸着剤は、前記第1吸着塔から供給された前記第1濃縮ガスと接触した場合に
は前記第1濃縮ガス中の二酸化炭素を吸着し、前記第2加熱部で加熱した場合には前記第
2吸着剤に吸着した二酸化炭素を脱着し、前記第2吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み
、前記第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成し、

前記第2吸着剤と接触した前記第1濃縮ガスは、前記第1吸着塔へ供給されて前記第1
吸着剤と接触し、前記第1吸着剤に吸着した二酸化炭素の脱着を促進する、二酸化炭素回
収システム。

【請求項2】

前記第2吸着塔は前記第1吸着塔よりも小さい容積を有する、請求項1に記載の二酸化
炭素回収システム。

【請求項3】

10

20

前記第 2 吸着塔内を減圧する減圧部をさらに備える、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 4】

前記第 2 吸着塔内に空気、水素、水蒸気及び不活性ガスからなる群より選択される少なくとも一種のパージガスを供給するガス供給部をさらに備える、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 5】

前記第 2 吸着剤のかさ密度は、前記第 1 吸着剤のかさ密度以上である、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 6】

前記第 2 吸着剤のかさ密度は、前記第 1 吸着剤のかさ密度よりも小さい、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 7】

前記第 1 濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を測定する濃度測定部をさらに備え、
前記濃度測定部によって測定された二酸化炭素の濃度に応じて前記第 1 吸着塔から導出された前記第 1 濃縮ガスを前記第 1 吸着塔に導入する、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 8】

前記第 2 吸着塔から供給され、前記第 1 吸着剤と接触したガスは、前記第 2 吸着塔に供給され、前記第 2 吸着塔から供給され、前記第 1 吸着剤と接触したガス中の二酸化炭素が前記第 2 吸着剤に吸着される、請求項 1 又は 2 に記載の二酸化炭素回収システム。

【請求項 9】

第 1 吸着塔の外部から供給された空気との接触によって前記空気中の二酸化炭素を前記第 1 吸着塔に收容された第 1 吸着剤で吸着する工程と、

前記第 1 吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、前記第 1 吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、前記空気よりも二酸化炭素濃度が高い第 1 濃縮ガスを生成する工程と、

前記第 1 吸着塔から供給された前記第 1 濃縮ガスとの接触によって前記第 1 濃縮ガス中の二酸化炭素を、第 2 吸着塔に收容された第 2 吸着剤で吸着する工程と、

前記第 2 吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、前記第 2 吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、前記第 1 濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第 2 濃縮ガスを生成する工程と、

前記第 2 吸着剤と接触した前記第 1 濃縮ガスは、前記第 1 吸着塔へ供給されて前記第 1 吸着剤と接触し、前記第 1 吸着剤に吸着した二酸化炭素の脱着を促進する工程と、

を含む、二酸化炭素回収方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、二酸化炭素回収システム及び二酸化炭素回収方法に関する。

【背景技術】

【0002】

二酸化炭素は、地球温暖化の原因として問題視されており、世界的に二酸化炭素濃度の上昇を抑制する動きが広まっている。大気中の二酸化炭素濃度を低減させる方法の一つとして、直接空気回収（DAC）と呼ばれる技術が提案されている。DACは空気中の二酸化炭素を直接回収する技術である。DACで回収された二酸化炭素は、地下などに貯蔵することができるが、様々な化合物の原料として用いることもできる。

【0003】

特許文献 1 には、吸着剤を用いた循環式吸着/脱着により、空気から二酸化炭素を分離する方法が開示されている。当該方法は、吸着剤に二酸化炭素を吸着させる吸着工程と、吸着剤から二酸化炭素を脱着する脱着工程を含んでいる。そして、脱着工程では、ユニッ

10

20

30

40

50

ト内を真空状態になるまで排気している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第6622302号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

DACでは、二酸化炭素を空気から直接吸着するため、大量の空気がユニット内に取り入れられる。そのため、従来のDACのユニットは大きく、ユニット内を真空状態になるまで減圧するために多くのエネルギーを必要とする場合がある。

10

【0006】

そこで、本開示は、吸着剤から二酸化炭素を脱着させる際に、減圧に必要なエネルギーを低減することが可能な二酸化炭素回収システム及び二酸化炭素回収方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示に係る二酸化炭素回収システムは、第1吸着剤を収容し、第1吸着剤を加熱する第1加熱部を含む第1吸着塔と、第2吸着剤を収容し、第2吸着剤を加熱する第2加熱部を含む第2吸着塔とを備える。第1吸着剤は、第1吸着塔の外部から供給された空気と接触した場合には空気中の二酸化炭素を吸着し、第1加熱部で加熱した場合には第1吸着剤に吸着した二酸化炭素を脱着し、第1吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成する。第2吸着剤は、第1吸着塔から供給された第1濃縮ガスと接触した場合には第1濃縮ガス中の二酸化炭素を吸着し、第2加熱部で加熱した場合には第2吸着剤に吸着した二酸化炭素を脱着し、第2吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する。

20

【0008】

第2吸着塔は第1吸着塔よりも小さい容積を有していてもよい。

【0009】

二酸化炭素回収システムは第2吸着塔内を減圧する減圧部をさらに備えていてもよい。

30

【0010】

二酸化炭素回収システムは第2吸着塔内に空気、水素、水蒸気及び不活性ガスからなる群より選択される少なくとも一種のパージガスを供給するガス供給部をさらに備えていてもよい。

【0011】

第2吸着剤のかさ密度は、第1吸着剤のかさ密度以上であってもよい。

【0012】

第2吸着剤のかさ密度は、第1吸着剤のかさ密度よりも小さくてもよい。

【0013】

二酸化炭素回収システムは第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を測定する濃度測定部をさらに備え、濃度測定部によって測定された二酸化炭素の濃度に応じて第1吸着塔から導出された第1濃縮ガスを第1吸着塔に導入してもよい。

40

【0014】

本開示に係る二酸化炭素回収方法は、第1吸着塔の外部から供給された空気との接触によって空気中の二酸化炭素を第1吸着塔に収容された第1吸着剤で吸着する工程と、第1吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第1吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成する工程と、第1吸着塔から供給された第1濃縮ガスとの接触によって第1濃縮ガス中の二酸化炭素を、第2吸着塔に収容された第2吸着剤で吸着する工程と、第2吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第2吸着剤から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素

50

濃度が高い第 2 濃縮ガスを生成する工程とを含む。

【発明の効果】

【0015】

本開示によれば、吸着剤から二酸化炭素を脱着させる際に、減圧に必要なエネルギーを低減することが可能な二酸化炭素回収システム及び二酸化炭素回収方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図 1】図 1 は、一実施形態に係る二酸化炭素回収システムを示す概略図である。

【図 2】図 2 は、第 1 吸着塔に空気を導入している状態の例を示す概略図である。

10

【図 3】図 3 は、第 1 吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着している状態の例を示す概略図である。

【図 4】図 4 は、第 1 吸着塔で生成された第 1 濃縮ガスを第 1 吸着塔へ再度導入する状態の例を示す概略図である。

【図 5】図 5 は、第 2 吸着塔に第 1 濃縮ガスを導入する状態の例を示す概略図である。

【図 6】図 6 は、第 2 吸着剤に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着している状態の例を示す概略図である。

【図 7】図 7 は、第 2 吸着塔で生成された第 2 濃縮ガスを回収する状態の例を示す概略図である。

【図 8】図 8 は、2 段階の吸着及び脱着によって二酸化炭素濃度を増加させるメカニズムを説明するための説明図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、いくつかの例示的な実施形態について、図面を参照して説明する。なお、図面の寸法比率は説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。

【0018】

[二酸化炭素回収システム]

図 1 に示すように、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム 1 は、第 1 吸着塔 10 と、空気供給部 30 と、第 2 吸着塔 40 と、回収部 70 とを備えている。本実施形態に係る二酸化炭素回収システム 1 では、第 1 吸着塔 10 で空気中の二酸化炭素を吸着し、第 1 吸着塔 10 で吸着された二酸化炭素を第 2 吸着塔 40 で濃縮して回収する。以下、各構成要素について詳細に説明する。

30

【0019】

第 1 吸着塔 10 には、第 1 吸着塔 10 内に空気を導入する導入口 11 と、第 1 吸着塔 10 内の空気を導出する導出口 12 とが設けられている。導入口 11 及び導出口 12 にはダンパが設けられている。導入口 11 には空気供給部 30 が接続されており、第 1 吸着塔 10 内に空気を供給する。空気供給部 30 は、送風機であってもよい。導入口 11 及び導出口 12 が開かれると、外部の空気が導入口 11 から第 1 吸着塔 10 内に導入される。導入された空気は、第 1 吸着塔 10 に収容された第 1 吸着剤 14 に接触した後、導出口 12 から導出される。

40

【0020】

なお、空気供給部 30 は、導入口 11 ではなく、導出口 12 に接続されて、第 1 吸着塔 10 内を減圧することにより、導入口 11 から第 1 吸着塔 10 内に空気を供給してもよい。また、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム 1 では、空気を第 1 吸着塔 10 内に空気供給部 30 によって強制的に供給することにより、第 1 吸着剤 14 と空気とを接触させている。しかしながら、空気供給部 30 に代え、自然換気によって空気を第 1 吸着塔 10 内に供給してもよい。

【0021】

第 1 吸着塔 10 は第 1 吸着部 13 を収容している。第 1 吸着部 13 は、第 1 吸着塔 10 の側壁部と隙間を空けて配置されている。第 1 吸着部 13 は、第 1 吸着剤 14 と、第 1 吸

50

着剤 14 を支持する支持部 15 とを含んでいる。支持部 15 は、円筒形状の外壁 16 と、外壁 16 よりも小さい径を有する円筒形状の内壁 17 とを含んでいる。外壁 16 と内壁 17 との間には第 1 吸着剤 14 が充填されており、第 1 吸着剤 14 は円筒形状になるように支持部 15 に支持されている。円筒形状の支持部 15 の一端側の開口部は導入口 11 と接続され、もう一端側の開口部は天板 18 によって封鎖されている。外壁 16 及び内壁 17 には複数の孔 19 が設けられている。そのため、導入口 11 から導入された空気は、内壁 17 側から外壁 16 側へ向かって第 1 吸着剤 14 と接触しながら支持部 15 を通過する。

【0022】

なお、円筒形状の第 1 吸着剤 14 は、鉛直方向に延在するように配置されているが、水平方向に延在するように配置されていてもよい。また、本実施形態では、空気を内壁 17 側から外壁 16 側へ向かって通過させるが、空気を外壁 16 側から内壁 17 側へ向かって通過させてもよい。また、第 1 吸着剤 14 の形状は円筒に限らず、円形平板又は矩形平板であってもよい。

10

【0023】

第 1 吸着剤 14 は、第 1 吸着塔 10 の外部から供給された空気と接触した場合には空気中の二酸化炭素を吸着する。第 1 吸着剤 14 は、多孔質体、アルカリ金属及びアルカリ土類金属からなる群より選択される少なくとも一種を含んでいてもよい。これらの材料は、二酸化炭素を効率的に吸着することができる。多孔質体は、ゼオライト、アルミナ、シリカ、樹脂、粘土及び活性炭からなる群より選択される少なくとも一つを含んでいてもよい。アルカリ金属を含む第 1 吸着剤 14 は、アルカリ金属の炭酸塩、及びリチウム遷移金属複合酸化物の少なくともいずれか一方を含んでいてもよい。アルカリ土類金属を含む第 1 吸着剤 14 は、アルカリ土類金属の酸化物などを含んでいてもよい。

20

【0024】

第 1 吸着剤 14 は、塩基性物質が表面に担持された多孔質体、及び、表面が塩基で修飾された多孔質体の少なくともいずれか一方を含んでもよい。このような材料は、比表面積が大きく、塩基の二酸化炭素に対する反応性が高いことから、多くの二酸化炭素を吸着することが可能となる。多孔質体は、上述したものをを用いてもよい。また、塩基性物質は、第 1 級アミン化合物、第 2 級アミン化合物及び第 3 級アミン化合物からなる群より選択される少なくとも一種のアミン化合物を含んでいてもよい。また、多孔質体の表面を修飾する塩基は、アミノ基であってもよい。これらの材料は、多孔質体を上述したアミン化合物に浸漬後、乾燥させ、多孔質体の表面に塩基性物質を担持又は塩基で修飾することにより得ることができる。あるいは、これらの材料は、多孔質体表面とアミン化合物の脱アルコール反応などの化学的な反応を用い、多孔質体を塩基性物質によって修飾することで得ることができる。

30

【0025】

第 1 吸着塔 10 は第 1 吸着剤 14 を加熱する第 1 加熱部 20 を含んでいる。第 1 吸着剤 14 は、第 1 加熱部 20 で加熱した場合には第 1 吸着剤 14 に吸着した二酸化炭素を脱着する。そのため、第 1 吸着剤 14 は、第 1 吸着剤 14 から脱着した二酸化炭素を含み、第 1 吸着塔 10 の外部から供給された空気よりも二酸化炭素濃度が高い第 1 濃縮ガスを生成する。第 1 吸着塔 10 には、第 1 濃縮ガスを導出する導出口 23 が設けられており、第 1 濃縮ガスは導出口 23 を介して第 1 吸着塔 10 から導出され、第 2 吸着塔 40 に導入される。

40

【0026】

第 1 加熱部 20 は、電源 21 と、電源 21 に電氣的に接続された発熱体 22 とを含んでいる。そして、電源 21 によって電流が発熱体 22 に流れることにより発熱体 22 が発熱する。発熱体 22 は、第 1 吸着剤 14 の内部に埋設されている。発熱体 22 は、第 1 吸着剤 14 を加熱することができればよく、第 1 吸着部 13 の周囲を取り囲むように設けられていてもよい。第 1 加熱部 20 は、バンドヒータ、フィルムヒータ、プレートヒータ、シーズヒータ、チューブヒータ、ホースヒータ、プラグヒータ、及びフランジヒータからなる群より選択される少なくとも一種を含んでいてもよい。また、第 1 加熱部 20 は導管に

50

蒸気などの熱媒を流通させて第1吸着剤14を加熱してもよい。また、第1加熱部20は、誘導加熱、抵抗加熱、マイクロ波加熱、及びミリ波加熱からなる群より選択される少なくとも1種によって第1吸着剤14を加熱してもよい。

【0027】

第2吸着塔40には、第1濃縮ガスを導入する導入口42が設けられている。第1吸着塔10の導出口23と、第2吸着塔40の導入口42とは配管51を介して接続されている。配管51には、開閉弁52と、第1冷却部54と、分離部55と、濃度測定部56と、開閉弁57とが第1吸着塔10からこの順番で設けられている。配管58は、濃度測定部56と第2吸着塔40との間の配管51から分岐し、第1吸着塔10に設けられた導入口24と接続されている。配管58には、開閉弁59及び送風機53が設けられている。第2吸着塔40の導出口43と第1吸着塔10の導入口24とは、配管60を介して接続されている。配管60には、開閉弁61が設けられている。第2吸着塔40の導出口48と回収部70とは、配管71を介して接続されている。配管71には、開閉弁72が設けられている。

10

【0028】

送風機53は、配管51内に第1濃縮ガスが流れるように、第1吸着塔10内の第1濃縮ガスを吸引する。開閉弁52及び開閉弁59が開かれ、開閉弁57及び開閉弁61が閉じられている場合には、送風機53は第1濃縮ガスを導入口24から第1吸着塔10へ導入する。開閉弁52、開閉弁57及び開閉弁61が開かれ、開閉弁59及び開閉弁72が閉じられている場合には、送風機53は第1濃縮ガスを第2吸着塔40へ導入する。

20

【0029】

第1冷却部54は、第1濃縮ガスを冷却する。第1冷却部54で第1濃縮ガスを冷却することにより、第1濃縮ガス中の水分が凝縮する。

【0030】

分離部55は、第1冷却部54で凝縮した水分を第1濃縮ガスから回収する。第1濃縮ガスから水分が除去されることにより、第2吸着塔40に乾燥した第1濃縮ガスを供給することができる。分離部55は、ドレンタンクを含んでいてもよい。ドレンタンクには温度計が設けられており、ドレンタンク内で凝縮した水の温度を測定してもよい。

【0031】

濃度測定部56は、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を測定する。そして、濃度測定部56によって測定された二酸化炭素の濃度に応じて第1吸着塔10から導出された第1濃縮ガスを第1吸着塔10に導入してもよい。第2吸着塔40を介さずに第1濃縮ガスを第1吸着塔10に導入することにより、第1吸着剤14に吸着したままの二酸化炭素の脱着を促進し、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を高くすることができる。例えば、二酸化炭素の濃度が所定の濃度よりも低い場合には第1濃縮ガスを第1吸着塔10へ導入し、二酸化炭素の濃度が所定の濃度よりも高い場合には第1濃縮ガスを第2吸着塔40へ導入してもよい。第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度が、所望の濃度よりも高いことが事前実験などにより確認できている場合などは、濃度を測定せずに第1濃縮ガスを第2吸着塔40へ導入してもよい。

30

【0032】

第2吸着塔40は第2吸着剤41を収容している。第2吸着剤41は、第1吸着塔10から供給された第1濃縮ガスと接触した場合には第1濃縮ガス中の二酸化炭素を吸着する。第2吸着剤41は第1濃縮ガスの流路内に充填されていてもよい。第2吸着剤41は、平板状、円柱状、多角柱状、不定形状、粉状、粒子状、球状、楕円体状、円錐状、又は多角錐状などの構造体であってもよい。第2吸着剤41は、第1吸着剤14の例として挙げられたものを使用することができる。第1吸着剤14と第2吸着剤41とはそれぞれ同じ種類であってもよく、異なる種類であってもよい。

40

【0033】

第2吸着塔40には、第2吸着剤41と接触した第1濃縮ガスを導出する導出口43が設けられている。第2吸着塔40の導出口43と、第1吸着塔10の導入口24とは、配

50

管60を介して接続されている。第2吸着剤41と接触した第1濃縮ガスを配管60によって第1吸着塔10へ供給することにより、第1吸着剤14から第2吸着剤41へ移動する二酸化炭素の量を多くすることができる。

【0034】

導入口42側における第2吸着剤41の露出面積は、導入口11側における第1吸着剤14の露出面積よりも小さくてもよい。これにより、導入口11側において空気が第1吸着剤14と接触する面積の方が、導入口42側において第1濃縮ガスが第2吸着剤41と接触する面積よりも大きくなる。したがって、第1吸着剤14を通過する空気の流路断面積の方が、第2吸着塔40を通過する第1濃縮ガスの流路断面積よりも大きくなる。したがって、第1吸着塔10における空気の流通量を第2吸着塔40よりも多くすることができる。一方、第2吸着塔40に流れる第1濃縮ガスの流量を小流量とし、第1濃縮ガスが第2吸着剤41と接触する時間を長くすることができる。そのため、二酸化炭素を第2吸着塔40で容易に濃縮することができる。

10

【0035】

第2吸着剤41のかさ密度は、第1吸着剤14のかさ密度以上であってもよい。第2吸着剤41のかさ密度が第1吸着剤14のかさ密度よりも大きい場合、二酸化炭素を第1吸着剤14よりも高い密度で第2吸着剤41に吸着させることができる。したがって、二酸化炭素をより容易に濃縮することができるため、二酸化炭素の回収効果を向上させることができる。一方、第1吸着剤14のかさ密度が第2吸着剤41のかさ密度よりも小さい場合、第1吸着塔10における圧力損失を、第2吸着塔40における圧力損失よりも低くすることができる。そのため、第1吸着塔10における空気の流通量を第2吸着塔40よりも多くすることができる。また、第2吸着剤41のかさ密度が第1吸着剤14のかさ密度と等しい場合、同じ吸着剤を供することが可能であるので、別々の吸着剤を準備する必要がなく装置の維持管理が簡素化される。一方で、第2吸着剤41のかさ密度は、第1吸着剤14のかさ密度より小さくてもよい。これにより、第2吸着剤41の圧力損失が小さくなるため、送風機53の動力を低減できる。また、第2吸着塔40の減圧と水蒸気パージにより、効率的に二酸化炭素を回収できる。

20

【0036】

第2吸着剤41の二酸化炭素吸着容量は、第1吸着剤14の二酸化炭素吸着容量以上であってもよい。この場合、第1吸着塔10で吸着した二酸化炭素の多くを第2吸着塔40に吸着させることができる。一方、第2吸着剤41の二酸化炭素吸着容量は、第1吸着剤14の二酸化炭素吸着容量未満であってもよい。この場合、第2吸着剤41に吸着される二酸化炭素が飽和状態に達しやすくなるため、最終的に得られる二酸化炭素濃度を濃くすることができる。

30

【0037】

なお、二酸化炭素吸着容量は、吸着剤の単位容量当たりの二酸化炭素吸着容量と吸着剤の容量との積を意味する。すなわち、第1吸着剤14の二酸化炭素吸着容量は、第1吸着剤14の単位容量当たりの二酸化炭素吸着容量 $[g_CO_2 / L_吸着剤]$ と、第1吸着剤14の容量 $[L_吸着剤]$ との積を意味する。同様に、第2吸着剤41の二酸化炭素吸着容量は、第2吸着剤41の単位容量当たりの二酸化炭素吸着容量 $[g_CO_2 / L_吸着剤]$ と、第2吸着剤41の容量 $[L_吸着剤]$ との積を意味する。なお、吸着容量は、吸着雰囲気における温度及び二酸化炭素分圧下における飽和吸着容量を意味する。

40

【0038】

第1吸着剤14の容量は、第2吸着剤41の容量以上であってもよい。第1吸着塔10に導入される空気中の二酸化炭素濃度は約400ppmであり、第2吸着塔40に導入される第1濃縮ガスよりも濃度が低い。そのため、第1吸着剤14の容量を、第2吸着剤41の容量よりも大きくし、二酸化炭素と接触する表面積を第2吸着剤41よりも大きくすることにより、二酸化炭素の回収効率を高くすることができる。第1吸着剤14の容量は、第2吸着剤41の2倍以上であってもよく、5倍以上であってもよい。

【0039】

50

第2吸着塔40は第2吸着剤41を加熱する第2加熱部44を含んでいる。第2吸着剤41は、第2加熱部44で加熱した場合には第2吸着剤41に吸着した二酸化炭素を脱着する。そのため、第2吸着剤41は、第2吸着剤41から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する。

【0040】

第2加熱部44は、電源45と、電源45に電氣的に接続された発熱体46とを含んでいる。そして、電源45によって電流が発熱体46に流れることにより発熱体46が発熱する。発熱体46は、第2吸着剤41の内部に埋設されている。発熱体46は、第2吸着剤41を加熱することができればよく、第2吸着剤41の周囲を取り囲むように設けられていてもよい。第2加熱部44は、バンドヒータ、フィルムヒータ、プレートヒータ、シーズヒータ、チューブヒータ、ホースヒータ、プラグヒータ、及びフランジヒータからなる群より選択される少なくとも一種を含んでいてもよい。また、第2加熱部44は導管に蒸気などの熱媒を流通させて第2吸着剤41を加熱してもよい。また、第2加熱部44は、誘導加熱、抵抗加熱、マイクロ波加熱、及びミリ波加熱からなる群より選択される少なくとも1種によって第2吸着剤41を加熱してもよい。

10

【0041】

二酸化炭素回収システム1は第2吸着塔40内を減圧する減圧部47を備えていてもよい。二酸化炭素の吸着の前に第2吸着塔40内を減圧することにより、第2吸着剤41への二酸化炭素吸着量を増加させることができる。また、二酸化炭素の脱着の際に第2吸着塔40内を減圧することにより、第2吸着剤41から二酸化炭素が脱着するのを促進することができる。また、二酸化炭素の脱着の際に第2吸着塔40内を減圧することにより、二酸化炭素以外の残存ガスを低減し、二酸化炭素濃度を高めることができる。減圧部47の吐出側を開閉弁72の下流かつ後述する第2冷却部73の上流の配管71に接続し、得られた高濃度の二酸化炭素混合ガスを加圧してもよい。

20

【0042】

第2吸着塔40は、第1吸着塔10よりも小さい容積を有していてもよい。第2吸着塔40の容積が第1吸着塔10の容積よりも小さい場合、第1吸着塔10内を減圧するよりも少ないエネルギーで第2吸着塔40内を減圧し、真空状態にすることができる。さらに、第2吸着塔40の容積が小さい場合、真空状態を確保するために必要なバルブ及びダンパなどの高価な専用部品の使用を低減することができる。

30

【0043】

二酸化炭素回収システム1は、第2吸着塔40内に空気、水素、水蒸気及び不活性ガスからなる群より選択される少なくとも一種のパージガスを供給するガス供給部65を備えていてもよい。これらのパージガスが第2吸着塔40内に供給されることにより、二酸化炭素が第2吸着剤41から脱着されるのを促進することができる。ガス供給部65は、例えば配管51における開閉弁57と第2吸着塔40の間に接続されていてもよい。

【0044】

パージガスとして空気を用いる場合には、周囲の空気を用いることができるため、二酸化炭素の脱着に必要な費用を低減することができる。水蒸気は冷却することにより凝縮することから、パージガスとして水蒸気を用いる場合には、脱着した二酸化炭素と水分とを容易に分離することができ、二酸化炭素濃度を高くすることができる。不活性ガスは反応活性が低いことから、パージガスとして不活性ガスを用いる場合には、特別な分離装置を用いず、不活性ガスを含んだ状態で二酸化炭素を回収することができる。パージガスとして水素を用いる場合には、水素と二酸化炭素との混合ガスが得られ、二酸化炭素の水素化反応に用いる合成ガスを生成することができる。そのため、パージガスとして水素を用いた場合には、メタネーションをはじめとする種々の反応工程の原料を得ることができる。回収したガスを例えばメタネーションに用いる場合には、水素に対する二酸化炭素の体積量が20%以上となるように第2吸着塔40内に水素を供給してもよい。

40

【0045】

第2吸着塔40の容積が第1吸着塔10の容積よりも小さい場合には、第1吸着塔10

50

内で脱着するよりも少ない量で第2吸着塔40内をパージすることができる。そのため、第2濃縮ガスの二酸化炭素をより高くすることができる。また、第2吸着塔40の容積が第1吸着塔10の容積よりも小さい場合、第2吸着塔40内を容易に加熱することができるため、二酸化炭素を脱着するためのエネルギーを低減することができる。また、例えば水蒸気をパージガスとして使用した場合には、水蒸気を除去するために必要なエネルギーを低減することができる。

【0046】

第2吸着塔40には、第2濃縮ガスを導出する導出口48が設けられている。第2吸着塔40の導出口48と回収部70とは、配管71を介して接続されている。配管71には、開閉弁72と、第2冷却部73と、圧縮機74とがこの順番で設けられている。

10

【0047】

第2冷却部73は、配管71を通過する第2濃縮ガスを冷却する。圧縮機74は、第2濃縮ガスを圧縮し、圧縮した第2濃縮ガスを回収部70に供給する。圧縮機74は、公知の圧縮機を用いることができる。回収部70は、第2濃縮ガスを貯蔵する。回収部70はタンクであってもよい。なお、二酸化炭素回収システム1は、回収部70を備えていなくてもよく、第2吸着塔40で生成された第2濃縮ガスは、図示しない反応器に供給され、反応原料として直接用いられてもよい。

【0048】

配管71には、第2濃縮ガス中の二酸化炭素の濃度を測定する図示しない濃度測定部が設けられていてもよい。そして、濃度測定部によって測定された二酸化炭素の濃度に応じて第2濃縮ガスを第1吸着塔10に導入してもよい。例えば、二酸化炭素の濃度が所定の濃度よりも低い場合には第2濃縮ガスを第1吸着塔10へ導入し、二酸化炭素の濃度が所定の濃度よりも高い場合には第2濃縮ガスを回収部70へ導入してもよい。第2濃縮ガスを第1吸着塔10に導入した場合、第2吸着塔40で再度濃縮することにより、第2濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を高くしてもよい。

20

【0049】

[二酸化炭素回収方法]

次に、本実施形態に係る二酸化炭素回収方法について説明する。本実施形態に係る二酸化炭素回収方法は、第1吸着工程と、第1脱着工程と、第2吸着工程と、第2脱着工程とを含んでいる。

30

【0050】

(第1吸着工程)

図2に示すように、第1吸着工程では、第1吸着塔10の外部から供給された空気との接触によって空気中の二酸化炭素を第1吸着塔10に收容された第1吸着剤14で吸着する。第1吸着工程では、具体的には、導入口11及び導出口12が開かれ、開閉弁52、開閉弁59及び開閉弁61が閉じられる。そして、第1吸着塔10の外部の空気は、空気供給部30によって導入口11から第1吸着塔10内に供給される。第1吸着塔10内に供給された空気は、第1吸着剤14と接触した後、導出口12を通過して第1吸着塔10から導出される。第1吸着工程における第1吸着塔10内の温度は特に限定されず、常温であってもよい。第1吸着工程における第1吸着塔10内の圧力は特に限定されず、常圧であってもよい。

40

【0051】

(第1脱着工程)

図3に示すように、第1脱着工程では、第1吸着剤14に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第1吸着剤14から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成する。圧力が同じである場合、温度が高くなる程、第1吸着剤14に対する二酸化炭素の吸着量が低下する。そのため、第1吸着剤14が加熱されることにより、二酸化炭素が第1吸着剤14から脱着し、第1吸着剤14から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスが生成される。

【0052】

50

第1脱着工程では、具体的には、導入口11、導出口12、開閉弁52、開閉弁59及び開閉弁61が閉じられ、第1加熱部20によって第1吸着剤14が加熱される。第1濃縮ガスが生成されると、開閉弁52が開かれ、導出口23を通過して第1吸着塔10から導出される。空気供給部30によって空気を第1吸着塔10内に供給することにより、二酸化炭素の脱着を促進してもよい。第1濃縮ガスは配管51を通り、導入口42から第2吸着塔40へ導入される。

【0053】

図4に示すように、第1脱着工程では、濃度測定部56によって測定された二酸化炭素の濃度に応じて第1濃縮ガスを第1吸着塔10に導入してもよい。例えば、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度が所定の濃度よりも低い場合には第1濃縮ガスを第1吸着塔10へ導入してもよい。具体的には、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度が所定の濃度よりも低い場合には、開閉弁52及び開閉弁59が開かれ、開閉弁57及び開閉弁61が閉じられる。これにより、第1濃縮ガスが第1吸着塔10を再度通過するため、第1吸着剤14に吸着したままの二酸化炭素の脱着を促進し、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度を高くすることができる。第1濃縮ガスは繰り返し第1吸着塔10を通過してもよい。第1濃縮ガスは第1吸着塔10を例えば3回以上のように複数回通過してもよい。そして、第1濃縮ガス中の二酸化炭素濃度が所定の濃度以上となった場合には、第2吸着塔40に第1濃縮ガスを導入してもよい。

10

【0054】

(第2吸着工程)

第2吸着工程では、第1吸着塔10から供給された第1濃縮ガスとの接触によって第1濃縮ガス中の二酸化炭素を第2吸着塔40に収容された第2吸着剤41で吸着する。図5に示すように、第2吸着工程では、第2吸着剤41と接触した第1濃縮ガスを、第1吸着塔10へ供給してもよい。この場合には、開閉弁52、開閉弁57、開閉弁61が開かれ、導入口11、導出口12、開閉弁59及び開閉弁72が閉じられる。第1濃縮ガスを第1吸着塔10へ再び供給することにより、第1吸着剤14から第2吸着剤41へ移動する二酸化炭素の量を多くすることができる。

20

【0055】

すなわち、第2吸着剤41と接触した第1濃縮ガスは、配管60を通過して第1吸着塔10へ導入され、第1吸着剤14と接触する。第2吸着剤41に二酸化炭素が吸着されることにより、第1吸着塔10に供給されるガスの二酸化炭素濃度は低くなっているため、第1吸着剤14と接触したガスは、第1吸着剤14に吸着したままの二酸化炭素の脱着を促進する。第1吸着剤14と接触した第1濃縮ガスは、第2吸着塔40に再度供給され、第1濃縮ガス中の二酸化炭素が第2吸着剤41に吸着される。

30

【0056】

(第2脱着工程)

図6に示すように、第2脱着工程では、第2吸着剤41に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第2吸着剤41から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する。第2脱着工程では、開閉弁57、開閉弁61及び開閉弁72が閉じられ、第2加熱部44によって第2吸着剤41が加熱される。第2吸着剤41が加熱されることにより、二酸化炭素が第2吸着剤41から脱着し、第2吸着剤41から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する。

40

【0057】

図7に示すように、第2濃縮ガスが生成されると、開閉弁72が開かれ、ガス供給部65から第2吸着塔40にパージガスが供給される。パージガスは、第2吸着剤41から二酸化炭素の脱着を促進する。第2濃縮ガスは、導出口48を通過して第2吸着塔40から導出され、配管71を経由して回収部70で回収される。

【0058】

以上の通り、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム1は、第1吸着剤14を収容し

50

、第1吸着剤14を加熱する第1加熱部20を含む第1吸着塔10と、第2吸着剤41を収容し、第2吸着剤41を加熱する第2加熱部44を含む第2吸着塔40とを備える。第1吸着剤14は、第1吸着塔10の外部から供給された空気と接触した場合には、空気中の二酸化炭素を吸着する。第1吸着剤14は、第1加熱部20で加熱した場合には、第1吸着剤14に吸着した二酸化炭素を脱着し、第1吸着剤14から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成する。第2吸着剤41は、第1吸着塔10から供給された第1濃縮ガスと接触した場合には、第1濃縮ガス中の二酸化炭素を吸着する。第2吸着剤41は、第2加熱部44で加熱した場合には、第2吸着剤41に吸着した二酸化炭素を脱着し、第2吸着剤41から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する。

10

【0059】

本実施形態に係る二酸化炭素回収方法は、第1吸着塔10の外部から供給された空気との接触によって空気中の二酸化炭素を第1吸着塔10に収容された第1吸着剤14で吸着する工程を含む。上記方法は、第1吸着剤14に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第1吸着剤14から脱着した二酸化炭素を含み、空気よりも二酸化炭素濃度が高い第1濃縮ガスを生成する工程を含む。上記方法は、第1吸着塔10から供給された第1濃縮ガスとの接触によって第1濃縮ガス中の二酸化炭素を、第2吸着塔40に収容された第2吸着剤41で吸着する工程を含む。上記方法は、第2吸着剤41に吸着した二酸化炭素を加熱によって脱着し、第2吸着剤41から脱着した二酸化炭素を含み、第1濃縮ガスよりも二酸化炭素濃度が高い第2濃縮ガスを生成する工程を含む。

20

【0060】

図8は、吸着剤を高温にした場合と低温にした場合における、二酸化炭素分圧と二酸化炭素の吸着容量との関係を示すグラフである。図8に示すように、二酸化炭素分圧が大きい程、吸着剤の吸着容量が大きくなる。しかしながら、空気中の二酸化炭素濃度は約400ppmであり、二酸化炭素分圧が高くない。そのため、空気中の二酸化炭素を吸着剤に吸着させた後に加熱によって二酸化炭素を脱着し、第1濃縮ガスを生成しても、十分に高い二酸化炭素濃度を有する第1濃縮ガスを得ることはできない。一方、第1濃縮ガス中の二酸化炭素を吸着剤に再度吸着させた場合、二酸化炭素の吸着量が多くなることから、加熱によって二酸化炭素を脱着することで、高い二酸化炭素濃度を有する第2濃縮ガスを得ることができる。

30

【0061】

したがって、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム1及び二酸化炭素回収方法によれば、吸着剤から二酸化炭素を脱着させる際に、減圧に必要なエネルギーを低減することができる。

【0062】

なお、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム1においては、第1吸着塔10と第2吸着塔40とが異なる構成をしている例について説明した。しかしながら、第1吸着塔10と第2吸着塔40とは同じ構成をしていてもよい。

【0063】

また、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム1においては、送風機53は配管58に設けられている。しかしながら、送風機53を設ける位置は特に限定されず、送風機53は配管51又は配管58に設けられていてもよい。

40

【0064】

また、本実施形態では、第1濃縮ガスが第2吸着塔40を上側から下側へ流れるように構成されている。しかしながら、第1濃縮ガスが第2吸着塔40を下側から上側へ流れるように構成されていてもよい。

【0065】

また、本実施形態では、二酸化炭素回収システム1が1つの第1吸着塔10を備える例について説明しているが、二酸化炭素回収システム1は並列に設けられた複数の第1吸着塔10を備えていてもよい。これにより、例えば、一方の第1吸着塔10で二酸化炭素を

50

吸着している間に、もう一方の第1吸着塔10で二酸化炭素を脱着することができる。そのため、二酸化炭素回収システム1による二酸化炭素の回収効率を向上させることができる。

【0066】

また、本実施形態に係る二酸化炭素回収システム1では、第1吸着塔10及び第2吸着塔40の2つの吸着塔を用いて二酸化炭素を回収する例について説明した。しかしながら、二酸化炭素回収システム1は、3つ以上の吸着塔を備えていてもよい。二酸化炭素回収システム1は、例えば、第1濃縮ガスを生成する第1吸着塔10と、第1濃縮ガスを濃縮して第2濃縮ガスを生成する第2吸着塔40と、第2濃縮ガスを濃縮して第3濃縮ガスを生成する図示しない第3吸着塔を備えていてもよい。

10

【実施例】

【0067】

以下、本実施形態を以下の例によりさらに詳細に説明するが、本実施形態はこれらの例に限定されるものではない。

【0068】

導入口と導出口とが設けられた筒状の容器内に吸着剤を充填した。充填した吸着剤の重量は1.7gであった。充填剤は、ランクセス社のLewatit(登録商標)VP-OC1065を用いた。吸着剤は、ポリマーをマトリックスとする多孔質体であり、第1級アミンを官能基として有している。また、容器の外周に吸着剤を加熱するためのヒータを取り付けた。

20

【0069】

次に、操作1として、容器内の温度を25℃に設定し、容器内に二酸化炭素濃度が0.04体積%の空気を3.8slmの流量で通過させ、空気中の二酸化炭素を吸着剤に吸着させた。

【0070】

操作1の後、操作2として、容器内の温度を140℃に設定し、容器内に二酸化炭素濃度が0.04体積%の空気を0.05slmの流量で通過させ、吸着剤から二酸化炭素を脱着させた。

【0071】

操作2の後、操作3として、容器内の温度を25℃に設定し、容器内に二酸化炭素濃度が0.04体積%の空気を3.8slmの流量で通過させ、空気中の二酸化炭素を吸着剤に吸着させた。

30

【0072】

操作3の後、操作4として、容器内の温度を25℃に設定し、容器内に二酸化炭素濃度が10体積%のガスを0.5slmの流量で通過させ、ガス中の二酸化炭素を吸着剤に吸着させた。

【0073】

操作4の後、操作5として、容器内の温度を140℃に設定し、容器内に二酸化炭素濃度が0.04体積%の空気を0.05slmの流量で通過させ、吸着剤から二酸化炭素を脱着させた。

40

【0074】

[評価]

操作2及び操作5で得られたガス中の二酸化炭素ピーク濃度を測定した。また、吸着剤に対する二酸化炭素の吸着量と脱着量を測定した。これらの結果を表1に示す。

【0075】

50

【表 1】

操作		温度 [°C]	流量 [slm]	導入口 CO ₂ 濃度 [%]	導出口 CO ₂ ピーク濃度 [%]	吸着量 [g_CO2/kg]	脱着量 [g_CO2/kg]
操作1	吸着	25	3.8	0.04	-	15	-
操作2	脱着	140	0.05	0.04	30	-	15
操作3	吸着	25	3.8	0.04	-	15	-
操作4	吸着	25	0.5	10	-	44	-
操作5	脱着	140	0.05	0.04	100	-	44

10

【0076】

表 1 に示すように、導出口から得られたガスの二酸化炭素濃度は、操作 2 では 30 % であったのに対し、操作 5 では 100 % と増加した。これらの結果から、操作 1 ~ 操作 5 のように吸着と脱着を繰り返すことにより、脱着ガスの二酸化炭素濃度を高くできることが分かる。本例では、同じ吸着装置及び吸着剤を用いることにより、二酸化炭素のピーク濃度を 30 % から 100 % に濃縮することが確認できた。しかしながら、操作 1 及び操作 2 で用いる吸着装置を、操作 4 及び操作 5 で用いる吸着装置の容積よりも小さくした場合であっても二酸化炭素を濃縮できると考えられる。そのため、上述した実施形態のように、複数の吸着塔を用いることにより、吸着塔内を減圧しなくても、空気中の二酸化炭素を回収

20

【0077】

特願 2021 - 190128 号（出願日：2021 年 11 月 24 日）の全内容は、ここに援用される。

【0078】

いくつかの実施形態を説明したが、上記開示内容に基づいて実施形態の修正または変形をすることが可能である。上記実施形態のすべての構成要素、及び請求の範囲に記載されたすべての特徴は、それらが互いに矛盾しない限り、個々に抜き出して組み合わせてもよい。

30

【0079】

本開示は、例えば、国際連合が主導する持続可能な開発目標（SDGs）の目標 7 『すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する』及び目標 13 『気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる』に貢献することができる。

【符号の説明】

【0080】

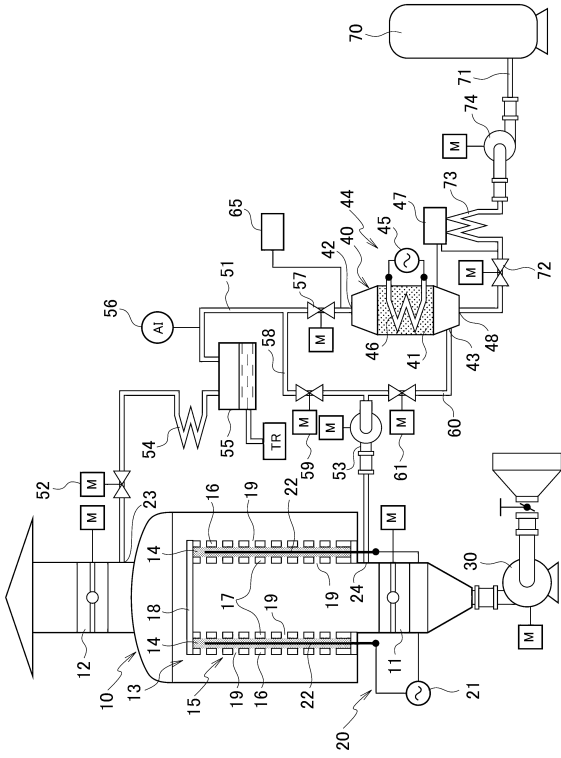
- 1 二酸化炭素回収システム
- 10 第 1 吸着塔
- 14 第 1 吸着剤
- 20 第 1 加熱部
- 40 第 2 吸着塔
- 41 第 2 吸着剤
- 44 第 2 加熱部
- 47 減圧部
- 65 ガス供給部

40

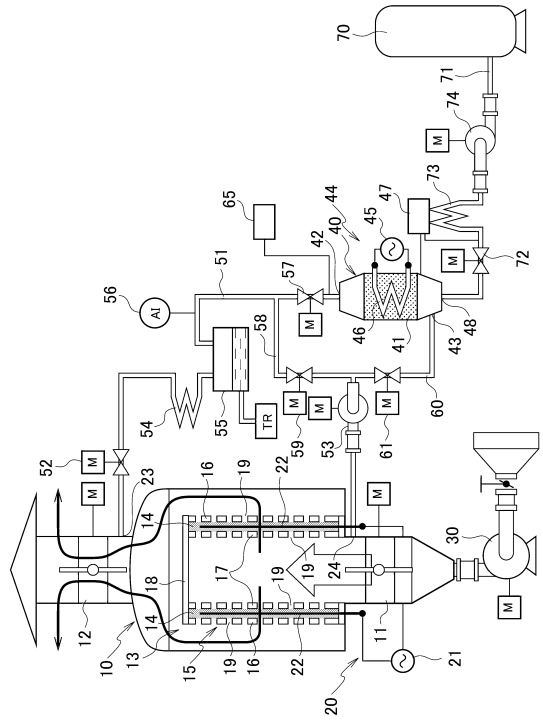
50

【図面】

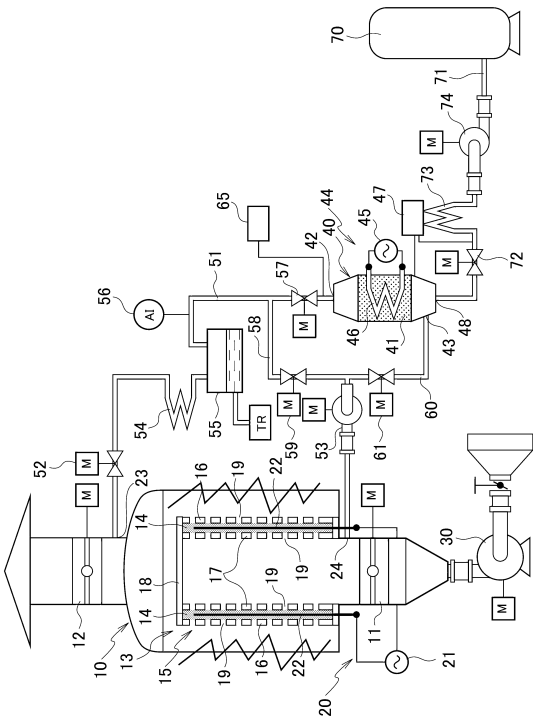
【図 1】



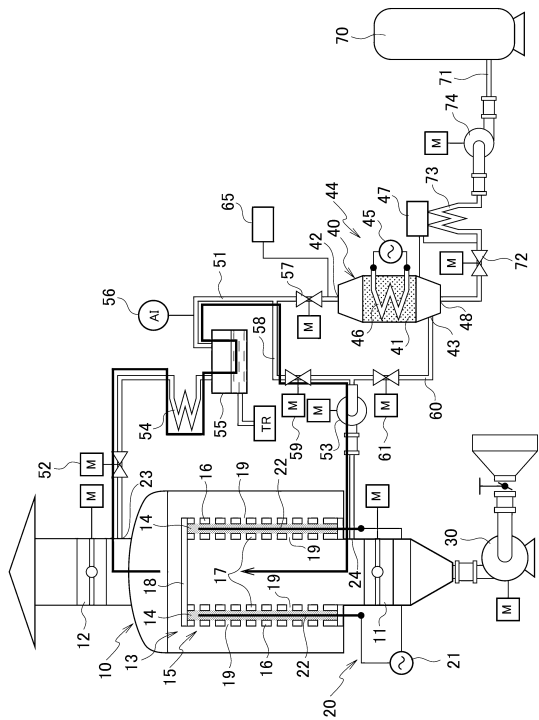
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

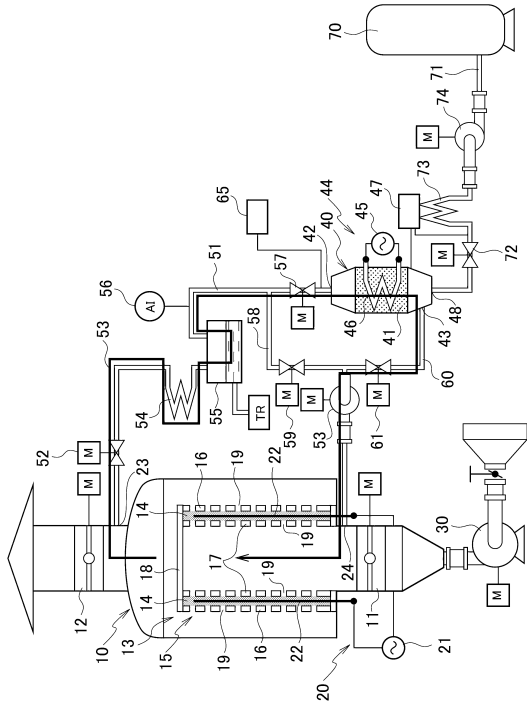
20

30

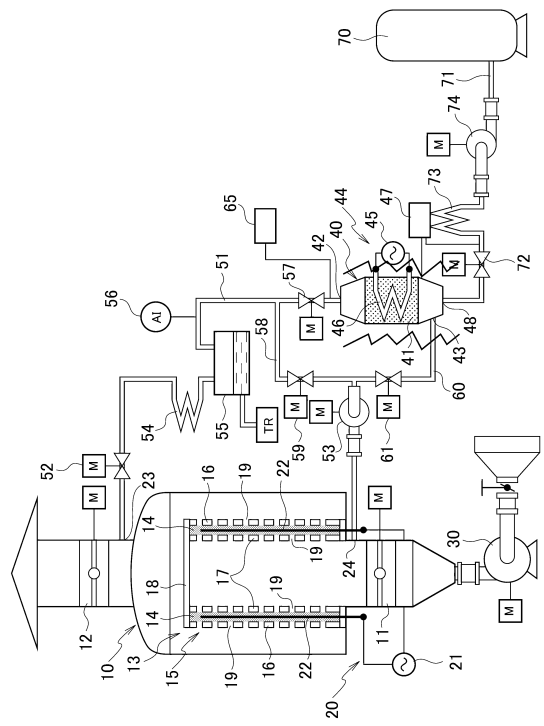
40

50

【図5】



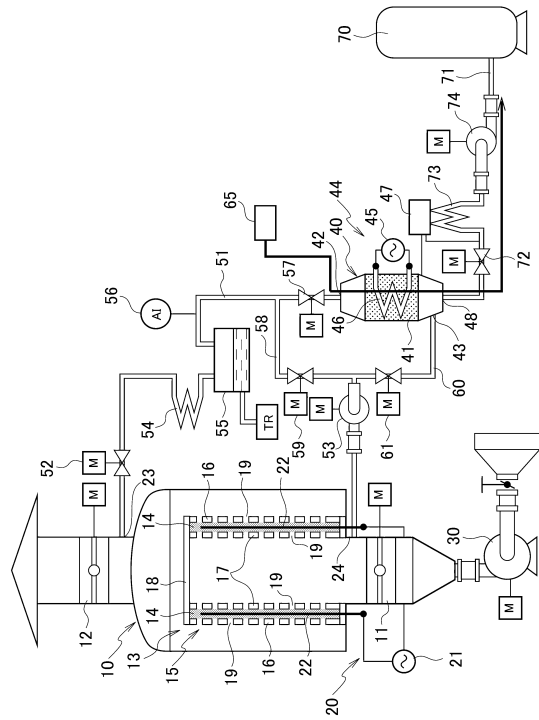
【図6】



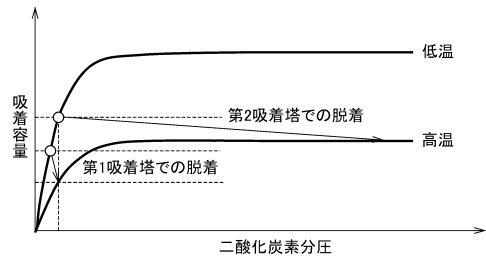
10

20

【図7】



【図8】



30

40

50

フロントページの続き

審査官 庭月野 恭

- (56)参考文献 特開平05 - 228326 (JP, A)
特開2004 - 202393 (JP, A)
特開2020 - 131166 (JP, A)
特開2016 - 040025 (JP, A)
特開2011 - 167629 (JP, A)
特開2012 - 250205 (JP, A)
特開平08 - 131767 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B01D 53/02 - 53/14
B01D 53/62
C01B 32/50